

## PEMBUATAN BAHAN KONDUKTOR KABEL LISTRIK DARI DEPOSIT DAN SCRAP TEMBAGA

### CASTING PROCESS OF ELECTRICAL CABLE CONDUCTOR MATERIAL FROM COPPER DEPOSIT AND SCRAP

Mohamad Marhaendra Ali, Arif Indro Sultoni\*

Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya

Jl. Jagir Wonokromo No. 360 Surabaya

Diterima: 10 Oktober 2019

Direvisi: 4 November 2019

Disetujui: 2 Desember 2019

#### ABSTRAK

Kemampuan hantar kabel listrik ditentukan oleh nilai KHA (Kemampuan Hantar Arus) yang dimiliki oleh material konduktor. Di sisi lain, daya hantar konduktor sangat dipengaruhi oleh jenis bahan, luas penampang, serta nilai tahanan yang dimiliki oleh bahan konduktor. Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan bahan konduktor untuk kabel listrik dengan memanfaatkan deposit tembaga dari limbah PCB dan *scrap* dari sisa *machining*. Penelitian yang dilakukan meliputi peleburan deposit dan *scrap* tembaga menjadi ingot untuk selanjutnya dilakukan pengujian komposisi kimia dan nilai tahanannya. Hasil uji yang diperoleh dibandingkan terhadap nilai kadar Cu dan hambatan dari kabel komersial yang beredar di pasaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bahan konduktor dari deposit dan *scrap* tembaga mempunyai kandungan tembaga (Cu) sekitar 92% dan nilai tahanan 0,4-0,6 m $\Omega$ . Nilai tersebut memiliki kualitas yang lebih baik apabila dibandingkan dengan konduktor kabel listrik yang beredar di pasaran dengan kandungan tembaga (Cu) antara 86%-97% dan nilai tahanan 8-11 m $\Omega$ .

**Kata kunci:** konduktor, kabel listrik, deposit, *scrap*, tembaga.

#### ABSTRACT

*The conductivity of electrical cables is determined by the value of the current conductivity of the conductor material. On the other hand, the conductivity of conductors is strongly influenced by the type of material, cross-section area, and the resistance of conductor material. In this research, conductor material for electrical cables was made by utilizing copper deposit from PCB waste and scrap from the waste of the machining. Research carried out included the melting of copper deposit and scrap into ingots for further testing of the chemical composition and value of the resistance. The test results were compared with the Cu content and resistance of commercial cables on the market. The test results showed that the conductor material from copper deposit and scrap had a copper content (Cu) of about 92% and a resistance value of 0.4 - 0.6 m $\Omega$ . This value had a better quality compared to that of electrical cable conductors circulating in the market with copper content (Cu) between 86% - 97% and a resistance value in the range of 8-11 m $\Omega$ .*

**Keywords:** conductor, electrical cable, deposit, scrap, copper

#### PENDAHULUAN

Sampah elektronik (*e-waste*) adalah limbah yang berasal dari peralatan elektronik yang telah rusak, bekas dan tidak digunakan lagi oleh pemakainya. Sampah elektronik merupakan jenis limbah yang pertumbuhannya paling tinggi tiap tahunnya. Dalam setiap sampah elektronik terkandung material dan logam berharga selain mengandung pula bahan berbahaya dan beracun (B3) yang dapat menyebabkan pencemaran dan

kerusakan lingkungan jika sampah elektronik tidak dikelola dengan baik. Karena sifatnya tersebut, terjadi banyak kasus pengiriman sampah elektronik dari negara maju ke negara berkembang. Beberapa komponen peralatan listrik dan elektronik bekas maupun limbahnya (*e-waste*) membutuhkan pengelolaan yang memenuhi syarat, karena mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3). *Circuit board*, misalnya, mengandung logam berat seperti *antimon*, *chromium*, *zinc*, timbal, perak, dan

\*Corresponding author:

Email: [arif.indro.sultoni@gmail.com](mailto:arif.indro.sultoni@gmail.com)

DOI: <http://dx.doi.org/10.37209/jtbbt.v9i2.134>

tembaga. Sedangkan CRT (*Cathode Ray Tube*) mengandung oksida timbal. Jika peralatan elektronik bekas atau telah menjadi limbah didaur ulang, maka diperlukan tata cara daur ulang yang bersifat ramah lingkungan. Bila akan dibuang ke lingkungan, harus dilakukan tindakan yang sesuai dengan ketentuan yang berlaku agar pencemaran lingkungan serta gangguan kesehatan dapat dihindari [1]. Xiao, dkk [2] mereview berbagai macam cara untuk melakukan daur ulang terhadap limbah kawat dan kabel. Manivannan [3] meneliti *recovery* tembaga dari PCB dengan cara *leaching* sehingga diperoleh presipitasi tembaga sulfat.

Konduktor adalah zat atau bahan (baik berupa zat padat, cair atau gas) yang bersifat menghantarkan energi, baik energi listrik maupun energi kalor. Di sisi lain, isolator yaitu zat atau bahan yang tidak dapat menghantarkan energi. Makin kecil hambatan jenis pada suatu konduktor maka makin baik material tersebut dalam menghantarkan listrik. Tabel 1 menunjukkan bahwa unsur tembaga (Cu) dan perak (Ag) mempunyai hambatan jenis yang relatif kecil, sehingga keduanya banyak digunakan sebagai bahan penghantar energi listrik pada komponen elektronika seperti kabel listrik. Lebih lanjut lagi, makin besar nilai konduktivitas suatu material maka makin baik performanya dalam menghantarkan panas [4]. Pada Tabel 2 ditunjukkan bahwa unsur tembaga (Cu) dan perak (Ag) mempunyai konduktivitas yang relatif besar sehingga paling sesuai untuk digunakan sebagai bahan pembuat konduktor listrik. [5]

**Tabel 1.** Hambatan Jenis Beberapa Bahan Konduktor [4]

Bahan	Hambatan Jenis $\rho$ ( $\mu\Omega\text{cm}$ )
<i>Aluminum</i>	2,428
<i>Beryllium</i>	2,70
<i>Cobalt</i>	5,24
<b><i>Copper</i></b>	<b>1,553</b>
<i>Chromium</i>	12,155
<i>Gold</i>	2,058
<i>Indium</i>	8,00
<i>Iron</i>	9,07
<i>Lead</i>	19,2
<i>Magnesium</i>	4,12
<i>Manganese</i>	143,5

**Tabel 2.** Konduktivitas Beberapa Bahan Konduktor [5]

Bahan	Konduktivitas Termal Watt $\text{cm}^{-1}\text{K}^{-1}$
<i>Aluminum</i>	2,36
<b><i>Copper</i></b>	<b>4,01</b>
<i>Gold</i>	3,18
<i>Iron</i>	0,835
<i>Magnesium</i>	0,206
<i>Mercury</i>	0,078
<i>Platinum</i>	0,734
<i>Silver</i>	0,464
<i>Tungsten</i>	1,82

Kabel listrik adalah media untuk menyalurkan energi listrik. Sebuah kabel listrik terdiri dari isolator dan konduktor. Isolator adalah pembungkus kabel yang biasanya terbuat dari bahan *thermoplastic* atau *thermosetting*, sedangkan konduktornya terbuat dari tembaga ataupun aluminium. Kemampuan hantar sebuah kabel listrik ditentukan oleh KHA (Kemampuan Hantar Arus) yang dimilikinya, sebab parameter hantaran listrik ditentukan dalam satuan Ampere. Kemampuan Hantar Arus ditentukan oleh luas penampang konduktor yang berada dalam kabel listrik. Ketentuan mengenai KHA kabel listrik diatur dalam spesifikasi SPLN [6]. Proses pengecoran tembaga itu sendiri sangatlah kompleks sebagaimana dikemukakan oleh Friedrich, dkk [7].

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan pembuatan bahan konduktor untuk kabel listrik dengan peleburan deposit tembaga dari penelitian sebelumnya [8] dan *scrap* tembaga yang diperoleh dari sisa *machining*. Hasil uji KHA dan kuat tarik ingot dibandingkan terhadap konduktor kabel yang beredar di pasaran.

## BAHAN DAN METODE

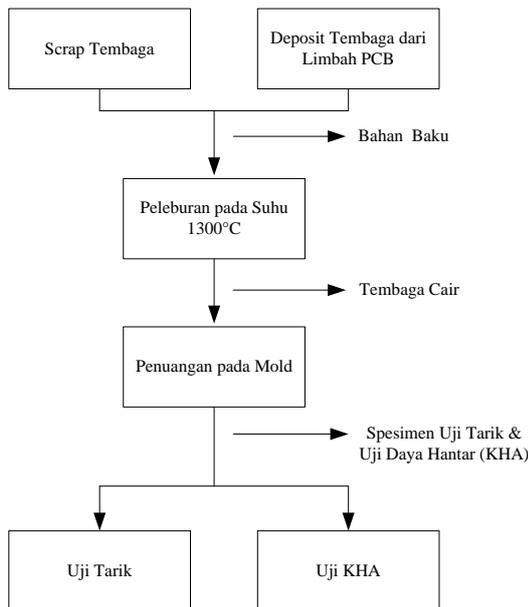
Pelaksanaan percobaan dilakukan di Baristand Industri Surabaya serta UPT Logam dan Lingkungan Industri Kecil (LIK) Sidoarjo. Diagram pelaksanaan percobaan ditunjukkan pada Gambar 1. Bahan dan peralatan yang diperlukan sebagai berikut:

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah deposit tembaga dari limbah PCB sebagai hasil penelitian terdahulu [8] dan *scrap* tembaga yang diperoleh dari sisa *machining* di industri kawasan LIK Sidoarjo.

### Peralatan

Percobaan menggunakan peralatan yang tersedia di laboratorium, antara lain tanur listrik (min 1300°C), cawan keramik, alat pencetak, *Earth Continues Tester*, multimeter, dan mesin tarik (*Ultimate Tensile Machine*)



**Gambar 1.** Diagram Alir Pelaksanaan Percobaan

Alur pengujian dilakukan beberapa tahap untuk mengetahui karakteristik bahan baku

konduktor kabel listrik yang telah dibuat dari deposit dan *scrap* tembaga. Adapun tahap-tahap pengujiannya adalah sebagai berikut :

1. Penentuan kadar Cu, Ag, Fe, Zn, Pb, Cr pada konduktor kabel peralatan listrik rumah tangga yang ada di pasaran
2. Penentuan kadar Cu, Ag, Cr, Zn, Fe, Pb hasil peleburan deposit dan *scrap* tembaga ketika uji coba di UPT Logam dan Lingkungan Industri Kecil (LIK) Sidoarjo
3. Pelaksanaan uji tarik konduktor kabel terhadap peralatan listrik rumah tangga yang tersedia di pasaran dan pengambilan contoh dilakukan secara acak
4. Pelaksanaan uji tarik ingot dari bahan deposit dan *scrap* tembaga.
5. Pengujian KHA terhadap konduktor kabel listrik dan ingot tembaga

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Uji Unsur Kimia

Hasil uji kadar Cu, Ag, Fe, Zn, Pb, Cr pada konduktor kabel peralatan listrik rumah tangga yang ada di pasaran tercantum pada Tabel 3. Pengujian dilakukan terhadap 3 jenis kabel listrik yang menempel pada peralatan listrik rumah tangga, yaitu:

- |   |   |
|---|---|
| A | : Konduktor kabel listrik kipas angin dengan standar IEC 53       |
| B | : Konduktor kabel listrik pompa air listrik dengan standar IEC 57 |
| C | : Konduktor kabel listrik setrika listrik                         |

**Tabel 3.** Hasil Uji Unsur Kimia Konduktor Kabel pada Peralatan Listrik Rumah Tangga

	Cu (%)	Ag (%)	Fe (%)	Zn (%)	Pb (%)	Cr (%)
A	86,64	0,00034	0,04	0,00540	0,031407	0,005434
B	96,32	0,000535	0,01	0,000423	0,0022	0,000914
C	86,87	0,001576	0,34	0,000945	0,003428	0,000523

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa kabel konduktor pompa air mempunyai kadar tembaga lebih besar daripada kabel konduktor kipas angin dan setrika listrik.

Hasil uji kadar unsur kimia hasil peleburan ingot dengan bahan baku deposit dan *scrap* tembaga (Gambar 2) tercantum pada Tabel 4



**Gambar 2.** Sampel Hasil Peleburan Deposit dan *Scrap* Tembaga Beserta Cetakannya

**Tabel 4.** Hasil Uji Unsur Kimia Hasil Peleburan Deposit dan Scrap Tembaga

	Cu (%)	Ag (%)	Fe (%)	Zn (%)	Pb (%)	Cr (%)
Nilai (%)	92,87	0,00032	0,843	0,00072	0,0018	0,00224

Berdasarkan Tabel 4 diketahui bahwa hasil peleburan deposit dan *scrap* menghasilkan kadar tembaga lebih besar daripada kabel untuk kipas angin dan setrika dan mendekati kadar tembaga kabel listrik pompa air.

**Hasil Uji Tarik**

Uji tarik dilakukan sesuai dengan SNI 07-0371-1998 menggunakan alat uji *Ultimate Tensile Machine* [9]. Uji tarik hanya dilakukan terhadap sampel konduktor kabel listrik yang ada di pasaran dan ingot tembaga hasil peleburan. Konduktor kabel listrik dengan diameter 0,68 mm mempunyai nilai kuat tarik sebesar 330,59 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan ingot dengan diameter sekitar 13,28 mm mempunyai nilai kuat tarik sebesar 242,40 N/mm<sup>2</sup>. Sampel konduktor kabel listrik mengikuti persyaratan uji tarik menurut SNI [9].

Perhitungan pada pengujian kuat tarik yaitu berat beban dibagi dengan luas area. Dalam hal ini, komposisi bahan sangat berpengaruh terhadap berat beban untuk pengujian kuat listrik. Biasanya, bahan dengan komposisi yang baik mempunyai kuat tarik lebih tinggi.

**Hasil Uji Daya Hantar (KHA)**

Hasil uji daya hantar konduktor kabel listrik tercantum pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Uji Daya Hantar Konduktor Kabel Listrik

Sampel	Arus (A)	Tegangan (mV)	Tahanan (mΩ)
A	6	53,8	8,96
B	10	88,8	8,88
C	6	64,4	10,73
D	10	106,8	10,68
E	6	63,2	10,53
F	10	107,1	10,71

Keterangan sampel:

- A : Konduktor kabel listrik kipas angin dengan standar IEC 53 pada arus 6A
- B : Konduktor kabel listrik kipas angin dengan standar IEC 53 pada arus 10A
- C : Konduktor kabel listrik pompa air listrik dengan standar IEC 57 pada arus 6A
- D : Konduktor kabel listrik pompa air listrik dengan standar IEC 57 pada arus 10A

- E : Konduktor kabel listrik setrika listrik pada arus 6A
- F : Konduktor kabel listrik setrika listrik pada arus 10A

Hasil uji daya hantar sampel ingot hasil peleburan dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil Uji Daya Hantar Sampel Ingot Hasil Peleburan

No sampel	Arus (A)	Tegangan (mV)	Tahanan (mΩ)
1	6	2,8	0,46
2	10	5,9	0,59
3	15	9,2	0,613
4	20	12,9	0,645
5	25	17,5	0,70
6	30	20,6	0,68
7	35	24,4	0,69
8	40	27,8	0,695
9	45	31,3	0,695
10	46,4	32,2	0,693

**Perbandingan Hasil Uji**

Hasil uji kadar Cu, Fe, Pb, Cr hasil *ingot* tembaga dibandingkan dengan konduktor kabel peralatan listrik rumah tangga dapat dilihat pada Tabel 7. Hasil perbandingan ini digunakan untuk mengetahui karakteristik konduktor kabel listrik yang dibuat dari ingot tembaga.

**Tabel 7.** Perbandingan Hasil Uji Unsur Kimia Konduktor Kabel Peralatan Listrik Rumah Tangga dengan Hasil Peleburan *Ingot* Tembaga

Sampel	Cu (%)	Fe (%)	Pb (%)	Cr (%)
A	86,64	0,04	0,031407	0,005434
B	96,32	0,01	0,0022	0,000914
C	86,87	0,34	0,003428	0,000523
D	92,87	0,843	0,0018	0,00224

Keterangan sampel:

- A : Konduktor kabel listrik kipas angin dengan standar IEC 53
- B : Konduktor kabel listrik pompa air listrik dengan standar IEC 57
- C : Konduktor kabel listrik pada setrika listrik
- D : Ingot hasil peleburan tembaga

Bahan baku yang baik mempunyai nilai kadar tembaga (Cu) yang relatif tinggi karena sifat tembaga sebagai penghantar listrik banyak digunakan pada komponen elektronika. Hasil perbandingan pada Tabel 7 menunjukkan bahwa unsur tembaga (Cu) menjadi acuan komposisi bahan yang baik untuk dijadikan sebagai penghantar listrik karena sifat kimianya mempunyai hambatan jenis yang kecil dan konduktivitas yang relatif besar. Sedangkan unsur yang lain yaitu Fe, Pb, Cr, Ni, Zn, Ag dan unsur-unsur lain tidak dijadikan sebagai acuan karena sifat kimianya kurang baik sebagai bahan penghantar listrik. Konduktor kabel listrik yang ada dipasaran (sampel A, B, dan C) mempunyai kandungan tembaga (Cu) antara 86% – 97%.

Ingot tembaga hasil peleburan pada sampel D mempunyai kadar tembaga sekitar 92%, yang berada pada kisaran kadar tembaga yang terdapat dalam konduktor kabel listrik komersial. Hasil ini menunjukkan bahwa sampel hasil uji coba memiliki potensi untuk dapat dikembangkan sebagai pengganti bahan baku konduktor kabel listrik komersial yang ada di pasaran.

Hasil uji daya hantar sampel ingot tembaga dibandingkan terhadap konduktor kabel peralatan listrik rumah tangga komersial, yang disajikan pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Perbandingan Daya Hantar Konduktor Kabel Peralatan Listrik Rumah Tangga dengan Ingot Tembaga

Sampel	Arus (A)	Tegangan (mV)	Tahanan (mΩ)
A	6	53,8	8,96
B	10	88,8	8,88
C	6	64,4	10,73
D	10	106,8	10,68
E	6	63,2	10,53
F	10	107,1	10,71
G	6	2,8	0,46
H	10	5,9	0,59

Keterangan sampel:

A, B, C, D, E, F sama dengan Tabel %

G : Hasil peleburan bahan baku ingot tembaga sebagai referensi pada arus 6A

H : Hasil peleburan bahan baku ingot tembaga sebagai referensi pada arus 10A

Daya hantar yang baik mempunyai nilai tahanan yang relatif kecil terhadap arus dan tegangan yang diberikan. Konduktor kabel listrik

yang ada di pasaran pada sampel A, B, C, D, E, dan F mempunyai hambatan relatif kecil antara 8 – 11 mΩ, sehingga sampel dengan daya hantar listrik yang baik adalah sampel yang mempunyai nilai tahanan tidak terlalu banyak berbeda dengan nilai tahanan konduktor kabel listrik tersebut.

Bahan baku ingot tembaga pada sampel G dan H mempunyai nilai tahanan yang kecil yaitu 0,46 mΩ dan 0,59 mΩ. Nilai ini menunjukkan bahwa sampel ingot tembaga mempunyai daya hantar yang lebih baik apabila dibandingkan dengan bahan penghantar listrik yang dijual secara komersial.

Korelasi antara komposisi kadar tembaga terhadap daya hantar listrik pada beberapa sampel uji dapat dilihat pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Hubungan Antara Kadar Tembaga (Cu) terhadap Tahanan Daya Hantar Listrik

Sampel	Cu (%)	Tahanan (mΩ)
A	86,64	8,96
B	96,32	10,73
C	86,87	10,53
D	92,87	0,46

Keterangan sampel:

A : Konduktor kabel listrik kipas angin dengan standar IEC 53 pada arus 6A

B : Konduktor kabel listrik pompa air listrik dengan standar IEC 57 pada arus 6A

C : Konduktor kabel listrik setrika listrik pada arus 6A

D : Ingot hasil peleburan tembaga pada arus 6A

Hubungan antara kadar tembaga (Cu) dengan tahanan daya hantar listrik beberapa sampel uji pada Tabel 9 menunjukkan bahwa nilai kadar tembaga dapat mempengaruhi daya hantar listrik jika ditinjau dari nilai tahanannya. Makin kecil nilai tahanan maka makin besar nilai daya hantarnya. Konduktor kabel listrik yang beredar di pasaran mempunyai kadar tembaga (Cu) antara 86%–97% dan nilai tahanan 8–11 mΩ. Hasil yang terukur pada konduktor kabel listrik ini menjadi acuan pada ingot tembaga. Bahan dari ingot tembaga mempunyai kadar tembaga (Cu) sekitar 92% dan nilai tahanan 0,4–0,6 mΩ sehingga mempunyai daya hantar yang baik dan dapat dikembangkan sebagai pengganti bahan baku konduktor kabel listrik

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Nilai kadar tembaga dapat mempengaruhi daya hantar listrik bila ditinjau dari besarnya nilai tahanan. Makin kecil nilai tahanan maka makin besar nilai daya hantarnya. Konduktor kabel listrik yang beredar di pasaran mempunyai kadar tembaga (Cu) sekitar 86% untuk produk kabel kipas angin dan setrika listrik, dan 97% untuk produk kabel pompa air dengan nilai tahanan 8-11 m $\Omega$ .

Ingot tembaga dari deposit dan *scrap* mempunyai kadar tembaga (Cu) sekitar 92%, dengan nilai tahanan sebesar 0,4-0,6 m $\Omega$ . Bahan tersebut mempunyai potensi untuk dapat dikembangkan sebagai pengganti bahan baku konduktor kabel listrik pompa air sesuai IEC 57.

### Saran

Penelitian ini merupakan penelitian awal untuk mengetahui karakteristik serta nilai komposisi kimia dan nilai tahanan terhadap daya hantar listrik pada lingkup percobaan yang telah dilakukan. Penelitian serupa dapat dikembangkan dengan melakukan modifikasi pada proses peleburan yang lebih sesuai agar diperoleh hasil yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. Kumar, Dr DN Singh, "Electronic Waste: Emerging Health Threats", *International Journal of Engineering Research and Development*, vol. 9, no.10, pp.17-23, 2014.
- [2] Sa Xiao, Wei Xiong, Lijun Wang and Qiaolin Ren, "The Treatment Technology of Recycling Scrap and Cable", *4<sup>th</sup> International Conference on Sustainable Energy and Environmental Engineering*, pp.500-503, 2015.
- [3] Manivannan Sethurajan and Eric D. van Hullebusch, "Leaching and Selective Recovery of Cu from Printed Circuit Boards", *Metals, MDPI*, pp. 1-12, September, 2019.
- [4] FR Fickett, "Electrical Properties of Materials and Their Measurement at Low Temperature", *NBS Publication*, US Government Printing, 1982
- [5] R W Powell, C Y Ho, P E Liley, "Thermal Conductivity of Selected Material", *NBS Publication*, US Government Printing, 1966
- [6] SPLN 42-2:1991 : "Kabel Berisolasi dan Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500V", *Pusat Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan*. 1991.
- [7] Bernd Friedrich and Christoph Kräutlein, "Melt Treatment of Copper and Aluminium- The Complex Step Before Casting", *Proceedings of The International Conference on Continous Casting of Non-Ferrous Metals*, Wiley-Vch, DGM, pp 3-22, 2016.
- [8] Handaru Bowo Cahyono dan Nurul Mahmida Ariani, "Reduksi Tembaga Dalam Limbah Cair Proses Etching Printing Circuit Board (PCB) Dengan Proses Kimia", *Jurnal Riset Industri*, Vol pp. 113-121 Vol 8 No.2. 2014
- [9] *Batang Uji Tarik Untuk Bahan Logam*, SNI 07-0371-1998, Badan Standardisasi Nasional (BSN), 1998.
- [10] *Peranti listrik rumah tangga dan sejenis-Keselamatan-Bagian 1 : Persyaratan Umum*, SNI IEC 60335-1:2009, BSN, 2009.